

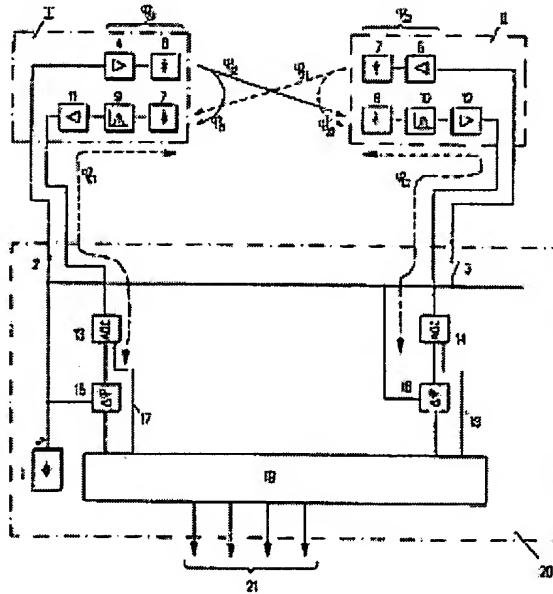
## Real-time object dynamic deformation measuring system

**Patent number:** DE4341645  
**Publication date:** 1995-06-08  
**Inventor:** BAHR ULRICH DIPLO ING (DE)  
**Applicant:** VOLKSWAGEN AG (DE)  
**Classification:**  
- **international:** G01M17/007; G01M17/007; (IPC1-7): G01B15/06;  
B60R21/00; G01B21/32; G01D21/02; G01M17/00;  
H04B7/24  
- **europen:** G01M17/007C  
**Application number:** DE19934341645 19931207  
**Priority number(s):** DE19934341645 19931207

[Report a data error here](#)

### Abstract of DE4341645

The measuring system uses a number of signals transmitted in all directions from defined active electronic measuring points (I, II) on the measuring object and received by cooperating measuring points (II, I). The received signals are combined for evaluation to determine the momentary spacing between the measuring points during the dynamic deformation. Pref. the measuring points are operated individually as transmitters and receivers in a given sequence, with the number of measuring points being greater than the theoretical number required for the deformation measurement.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



## (12) Offenlegungsschrift

(10) DE 43 41 645 A 1

(51) Int. Cl. 8:

G 01 B 15/06

G 01 D 21/02

G 01 B 21/32

G 01 M 17/00

H 04 B 7/24

B 60 R 21/00

(21) Aktenzeichen: P 43 41 645.4

(22) Anmeldetag: 7. 12. 93

(43) Offenlegungstag: 8. 6. 95

DE 43 41 645 A 1

(71) Anmelder:

Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

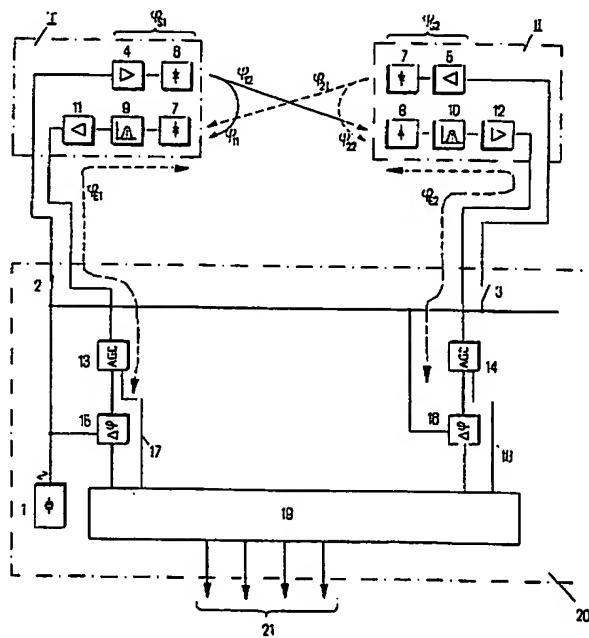
(72) Erfinder:

Bahr, Ulrich, Dipl.-Ing., 38106 Braunschweig, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren zur Echtzeit-Messung von dynamischen dreidimensionalen Verformungen eines Meßobjekts

(55) Ein Verfahren zur Echtzeit-Messung von dynamischen dreidimensionalen Verformungen eines Meßobjekts, beispielsweise eines Kraftfahrzeugs während eines Crashversuchs, verwendet an definierten Meßorten des Meßobjekts angebrachte, drahtlose Signale, omnidirektional aussendende sowie derartige Signale empfangende aktive elektronische Meßortmarken (I, II) und eine Verknüpfung ihrer Empfangssignale zur Ermittlung verformungsbedingter Momentanwerte der Entfernung zwischen den Meßortmarken (I, II) (Figur 1).



DE 43 41 645 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 04. 95 508 023/403

8/33

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Bedarf an einem derartigen Verfahren besteht beispielsweise bei der Erfassung von Schwingungen in einem Bauteil oder bei der Untersuchung des Crashverhaltens von Kraftfahrzeugen. Die letztgenannten Untersuchungen werden bekanntlich so durchgeführt, daß das Fahrzeug mittels eines Schlittens mit einer vorbestimmten Geschwindigkeit gegen ein Hindernis gefahren und ermittelt wird, ob die dadurch hervorgerufenen Verformungen des Fahrzeugs günstig im Hinblick auf die Vermeidung gefährlicher Verletzungen der Fahrzeuginsassen ablaufen.

In gewissem Rahmen erhält man in dem letztgenannten Problemfall Aussagen über das Crashverhalten durch nach dem Verformungsvorgang erfolgende Vermessung des das Meßobjekt darstellenden Kraftfahrzeugs, jedoch ist nicht auszuschließen, daß während des Verformungsvorgangs, d. h. zwischenzeitlich, örtliche Verformungen auftreten, die anschließend wieder rückgängig gemacht werden und die im Hinblick auf die Verletzungsgefahr, die sie für die Fahrzeuginsassen darstellen, gefährlich sind.

Bei Schwingungsuntersuchungen an Bauteilen, beispielsweise großflächigen Blechteilen, ist eine derartige nachträgliche Vermessung nicht möglich, da hier keine bleibenden Verformungen auftreten. Hier verwendet man relativ komplizierte, mit Lasern ausgerüstete Schwingungsanalysatoren, deren Einsatz jedoch bei komplizierten Prüflingen schwierig ist. Beim Einsatz von Videokameras können Beleuchtungsschwierigkeiten auftreten.

Bereits aus diesen einleitenden Betrachtungen erhellte, daß ein brauchbares gattungsgemäßes Meßverfahren im allgemeinsten Fall einer Vielzahl von Bedingungen genügen muß:

Der Meßort und seine Umgebung können sich unvorhersagbar im Raum bewegen. Die Komponenten der Meßeinrichtung können starken Beschleunigungen und Erschütterungen ausgesetzt sein. In dem Meßobjekt vorgesehene Einbauten, bei Crashuntersuchungen beispielsweise Dummies oder eine Crash-Instrumentierung, dürfen durch die Einrichtungen zur Durchführung des Meßverfahrens nicht behindert werden. Gegebenenfalls müssen mehrere Meßorte während ein und desselben Versuchs vermessen werden, damit beispielsweise prüflingsinterne Kollisionen festgestellt werden können. Sehr häufig besteht innerhalb des Meßobjekts auch keine freie Sichtverbindung zwischen allen Meßorten, und zwar entweder dauernd oder, beispielsweise bei Crashversuchen, kurzzeitig durch herumfliegende Teile.

Betrachtet man unter diesen Bedingungen bekannte Verfahren zur Wegmessung, so sind sie aus unterschiedlichen Gründen nicht geeignet:

Von vornherein scheiden mechanische Tastsysteme und induktive Weggäste aus.

Die bekannten berührungslos arbeitenden Meßverfahren können aufgrund bestimmter Gemeinsamkeiten in drei Gruppen unterteilt werden:

Bei einer ersten Gruppe sind Sender und Empfänger starr zueinander ausgerichtet, das Meßsignal wird am Meßobjekt reflektiert.

Diese Verfahren verwenden in der Regel berührungslos arbeitende Wegmeßgeräte mit einem signalabstrahlenden Sender und einem im gleichen Gehäuse untergebrachten Empfänger für das am Meßort reflektierte Signal. Benutzt werden Ultraschall-, Licht- und Funkwel-

len (Radar). Ausgewertet wird entweder nach Triangulationsverfahren der Winkel des reflektierten Strahls oder die Laufzeit des Signals zwischen Aussendung und Empfang nach Reflexion.

- 5 Diese Verfahren erfordern jedoch eine genaue Ausrichtung der Meßeinrichtungen in Bezug auf den gewünschten Meßort, wozu bei Verwendung von Ultrason und Funkwellen spezielle Sicht- bzw. Hörgeräte erforderlich sind. Sind diese nicht einsetzbar, kommen nur Geräte mit Strahlung im sichtbaren Bereich in Frage, die aber vergleichsweise leistungsschwach sind. Auch besteht die Möglichkeit elastischer Verformungen des Meßobjekts am Montageort des Meßgeräts, die über den Lichtzeigereffekt zu Wegmeßfehlern führen.
- 15 Hinzu kommen schließlich Fehlermöglichkeiten bzw. Begrenzungen der Einsatzmöglichkeiten durch unzulässige Abschattungseffekte, zu niedrige Meßrate sowie Störeinflüsse durch Schall, wie er beispielsweise bei Crashversuchen durch berstende Teile und sich entfaltende Airbags entsteht.

20 Eine zweite Gruppe bekannter Wegmeßverfahren arbeitet mit einem oder zwei zentralen Empfängern, die Kameras enthalten. Darunter fallen alle Empfänger mit einem ausgedehnten Bildfeld. Bekannte Verfahren sind die Stereoskopie, das Lichtschnittverfahren und Gitter- bzw. Moiréverfahren.

25 Dem Einsatz dieser Verfahren unter den eingangs genannten erschwerenden Bedingungen stehen lange Rechenzeiten, die Notwendigkeit einer sehr genauen Ausrichtung aller optischen Elemente relativ zueinander und dabei insbesondere die Vermeidung von Kippfehlern der Kamera entgegen.

30 Schließlich ist es prinzipiell möglich, Bewegungen und Verformungen mit Hilfe von Beschleunigungssensoren durch zweifache Integration ihrer Ausgangssignale zu bestimmen. Selbst bei Verwendung einer großen Anzahl von Beschleunigungssensoren erlaubt dieses Verfahren jedoch keine absolute Koordinatenmessung, sondern nur die Ermittlung von Relativbewegungen.

35 40 Problematisch ist hierbei, daß Verkippungen der Sensoren mit gemessen und demgemäß bei der Ermittlung der Bahn des betreffenden Objektpunktes berücksichtigt werden müssen.

45 Der Erfindung liegt demgemäß die Aufgabe zugrunde, ein gattungsgemäßes Verfahren zu schaffen, das auch unter den eingangs aufgezählten erschwerenden Bedingungen, wie sie beispielsweise bei Schwingungsmessungen an Bauteilen und bei Crashversuchen vorliegen, mit geringem meßtechnischen Aufwand und mit hoher Genauigkeit dynamische dreidimensionale Verformungen quantitativ und in Echtzeit-Messung zu erfassen gestattet.

50 55 Die erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe besteht in den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs, vorteilhafte Ausbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens beschreiben die Unteransprüche.

Wie sich gezeigt hat, lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren Meßraten von mindestens 1000 Messungen pro Sekunde und Meßort während einer gesamten Meßdauer in der Größenordnung von Sekunden erzielen. Eine Behinderung des Meßobjekts selbst sowie in diesem angeordneter weiterer Meßeinrichtungen (z. B. Dummies in einem Kraftfahrzeug) sind vermieden; das Gewicht der am Meßobjekt anzubringenden Sender-Empfänger-Anordnungen ist so klein, daß dadurch das Verhalten der Meßobjekte nicht beeinflußt wird. In Zusammenhang damit steht der Vorteil, daß eine Vielzahl von Meßorten gleichzeitig vermessen

werden kann.

Durch die hohe Flexibilität bei der Auswahl der Meßorte und damit der Anbringungsstellen für die Meßortmarken können Abschattungsprobleme, d. h. meßobjektbedingte Unterbrechungen des Sichtkontaktes zwischen verschiedenen Meßortmarken, vermieden werden. Im übrigen sind einzelne derartige Abschattungen unschädlich, da eine Vielzahl von Meßortmarken verwendet und dadurch ein Redundanzeffekt erzielt werden kann.

Als weiterer Vorteil ist schließlich die Vermeidung von Einmeßvorgängen anzuführen.

Bei dem erfundungsgemäßen Verfahren werden also an allen interessierenden Meßorten gleichartige, omnidirektional (also möglichst ungerichtet sendende und empfangende) wirkende aktive elektronische Meßortmarken befestigt; einen zentralen Empfänger (wie bei der Kameratechnik) gibt es nicht. Unter einer derartigen Meßortmarke wird im allgemeinsten Sinne ein möglichst kleines (zur Zeit realisierbar: wenige cm<sup>3</sup>) Licht-, Schall- oder Funksignale (ungerichtet) in den Raum aussendendes und ebenso empfangendes Gerät verstanden. Wegen des kleinen Bauvolumens empfiehlt sich die Verwendung von Infrarot-Sendedioden und PIN-Fotodioden als Empfänger. Im folgenden wird daher vorwiegend auf derartige optoelektronisch arbeitende Meßortmarken Bezug genommen.

Dabei ist es zweckmäßig, zur Erleichterung des Ausschaltens (Filterung) von Umgebungslichteinflüssen die ausgesendete Strahlung beispielsweise sinusförmig mit einer entsprechenden Frequenz, beispielsweise 25 MHz, zu modulieren.

Alle derartigen Meßortmarken werden nach ihrem Einbau über je ein Verbindungskabel mit einem Auswertegerät verbunden, das den Meßablauf so steuert, daß zyklisch fortschreitend beispielsweise für jeweils 100 µs jeweils nur eine Meßortmarke sendet und alle Meßortmarken auf Empfang geschaltet sind. Das Empfangssignal in einer von einer sendenden Meßortmarke verschiedenen Meßortmarke ist nicht nur um die entfernungsproportionale Signallaufzeit zwischen den beiden Meßortmarken verzögert, sondern gegenüber einem festen Bezugszeitpunkt im Meßobjekt auch durch unvermeidliche Laufzeiten in der Elektronik der sendenden Meßortmarke und in der Elektronik der empfangenden Meßortmarke. Im allgemeinsten Falle empfängt auch die sendende Meßortmarke ihre eigenen Signale, so daß bei insgesamt n Meßortmarken dem Auswertegerät in jedem Meßzyklus n Entfernungssignale zur Verfügung stehen. Diese enthalten jedoch die angesprochenen störenden Laufzeiten, die sich noch dazu mit der Temperatur stark ändern können.

Zur Ausschaltung derartiger nachteiliger Einflüsse kann gemäß Anspruch 5 eine Längenmessung einer Referenzstrecke bekannter Länge erfolgen. Dies erfordert jedoch zusätzliche Einrichtungen. Bei Verwendung optoelektronischer Meßortmarken muß mittels Kippsspiegeln oder rotierender Lochscheiben eine Umlenkung des Licht-Weges vorgenommen werden. Derartige Zusatzeinrichtungen können in bestimmten Anwendungsfällen, beispielsweise für Crashuntersuchungen an Fahrzeugen, Unterbringungsschwierigkeiten bereiten; sie sind ferner für hohe Beschleunigungen ungeeignet.

In diesem Fall ist die im Anspruch 7 angegebene Verfahrensvariante günstiger, die auch ihre eigenen Sendesignale erfassende Meßortmarken verwendet.

Die bei dem erfundungsgemäßen Verfahren vorgesehene Verwendung omnidirektional, also ungerichtet,

aussendender und empfangender Meßortmarken schließt Störungen durch Verkipplungen der Marken aus und gibt große Freiheit in ihrer Anordnung. Im Idealfall erfolgt die Signalabstrahlung kugelförmig, auf jeden Fall so, daß sich eine Eigenschaft der Signale in Abhängigkeit von dem radialen Abstand zu dem jeweiligen Sensor derart deutlich verändert, daß es meßtechnisch als Entfernungssignal ausgewertet werden kann. Da Ultraschallsignale sich relativ langsam ausbreiten, müssen zur Erzielung einer hohen Meßrate elektromagnetische Wellen als Signalträger verwendet werden. Hier sind sowohl die Intensität der Strahlung als auch ihre Laufzeit entfernungsabhängig, so daß beide Effekte ausgenutzt werden können. Da es jedoch schwierig ist, eine gleichmäßige Leistungsabstrahlung in den Raum zu erreichen, und da ferner im allgemeinsten Falle Störenflüsse durch sich während der Meßperiode ändernde Reflexionsverhältnisse im Meßobjekt gegeben sein können, stellt die Messung der jeweiligen Laufzeit einer elektromagnetischen Welle im sichtbaren Bereich (Licht) zwischen den Meßortmarken die günstigste Lösung dar. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des jeweiligen Signals ist in allen Richtungen gleich groß. Eine ungleichmäßige Leistungsabstrahlung in verschiedenen Richtungen kann toleriert werden, sofern nur jede empfangende Meßortmarke ein auswertbares Signal erhält.

Wegen der äußerst kurzen Laufzeiten stellt dieses Meßprinzip hohe Ansprüche an die verwendeten Komponenten und Schaltungen. Daher ist optimal, die Laufzeit von Impulsen nicht direkt zu messen, sondern in Form der Phasenverschiebungen zwischen den ausgesendeten und empfangenen Wellen. Diese Lösung bietet auch die vorteilhafte Möglichkeit, auf bekannte, bewährte Schaltungen zur Phasenwinkelmessung zurückgreifen zu können. So sind Entfernungsmessungen nach der Phasenwinkelmethode beispielsweise für Andockmanöver im Weltraum, autonome Roboter und Fahrzeuge sowie die geodätische Landvermessung bekannt. Allerdings stellen in diesen bekannten Einsatz fällen die Signallaufzeiten in den verschiedenen elektronischen Einrichtungen kein Problem dar, da sie gegenüber den meßtechnisch zu erfassenden Laufzeiten verschwindend klein bzw. durch Vermessung einer Referenzstrecke eliminierbar sind. Bei einem Verfahren zur Echtzeit-Messung von dynamischen dreidimensionalen Verformungen eines Meßobjekts, wie es die Erfindung darstellt, kann es demgegenüber, wie bereits oben ausgeführt, erforderlich sein, diese "driftenden" störenden Laufzeiten auch unter hohen Beschleunigungen zu eliminieren.

Im folgenden wird das erfundungsgemäße Verfahren anhand der Zeichnung erläutert, deren Fig. 1 die wesentlichen Bestandteile der Einrichtung, jedoch aus Übersichtlichkeitsgründen reduziert auf die Darstellung der Verhältnisse im Bereich von zwei Meßortmarken, darstellt, während Fig. 2 in einem Crashversuch zu untersuchendes Kraftfahrzeug mit mehreren Meßortmarken in Draufsicht und Fig. 3 die räumliche Anordnung der Meßortmarken wiedergibt.

Betrachtet man zunächst Fig. 1, so sind bei I und II zwei im Signalaustausch stehende Meßortmarken dargestellt. Gemeinsam ist beiden Meßortmarken I und II (sowie den weiteren, nicht dargestellten Meßortmarken an dem Meßobjekt) der Signalgenerator 1, der eine mit beispielsweise 25 MHz modulierte Sinuswelle erzeugt; diese wird in dem betrachteten Zeitpunkt über den Schalter 2 der Meßortmarke I zugeführt, die sie als Signal kugelförmig abstrahlt. Während des Sendebetriebs von Meßortmarken I ist der Schalter 3 geöffnet, d. h. die

Meßortmarke II arbeitet dann nur als Empfänger.

Die Signalabstrahlung erfolgt in den Meßortmarken I und II über Treiberstufen 4 und 5 sowie Sendedioden 6 und 7. Im Weg der empfangenen Signale finden sich in den beiden Meßortmarken I und II Empfangsdioden 7 und 8, Störunterdrückungsschaltungen 9 und 10 sowie Signalverstärker 11 und 12; die verstärkten Signale werden über Signalaufbereitungen 13 und 14 (Automatic Gain Control) Einrichtungen 15 und 16 zur Phasendifferenzmessung zwischen den Ausgangssignalen des Generators 1 und den jeweils empfangenen Signalen zugeführt. Die Ergebnisse der Einheiten 15 und 16 gelangen — ebenso wie über die Leitungen 17 und 18 zugeführte Gütesignale — in die Zentraleinheit 19 des Auswertegeräts 20, das außerhalb des Prüflings ortsfest oder — bei Crashversuchen — im Fahrzeug angeordnet ist. Die Zentraleinheit 19 enthält Untereinheiten zur Ablaufsteuerung, zur Driftelimination und zur Koordinatenberechnung; ihre Ausgänge 21 führen zu einem speichern den Anzeigegerät.

Die Zuordnung sogenannter Gütesignale, gegeben durch das Signal-Rauschverhältnis, zu den einzelnen Entfernungsmessungen ermöglicht eine Aussage über die "Qualität" der jeweiligen Messung. Bei Redundanz können dann die meßtechnisch sichersten Meßergebnisse für die Auswertung ausgewählt werden.

Betrachtet man nun die Verhältnisse zwischen den beiden Meßortmarken I und II, so erfahren die von der Meßortmarke I zur Meßortmarke II ausgesendeten Signale eine Phasenverschiebung  $\varphi_{12}$ ; die — betragsmäßig gleich große — Phasenverschiebung der von der Meßortmarke II ausgesendeten Signale ist mit  $\varphi_{21}$  bezeichnet. Während diese Phasenverschiebungen variabel sind, nämlich von dem jeweiligen Wert des Abstands zwischen den beiden Meßortmarken I und II abhängen, sind die Phasenverschiebungen  $\varphi_{11}$  und  $\varphi_{22}$ , die die von den Meßortmarken empfangenen eigenen Signale erfahren haben, konstant und gleich groß, da gleichartige Meßortmarken verwendet sind.

Das Entsprechende gilt auch für die im Sendestrang und im Empfangsstrang der Meßortmarken I und II hervorgerufenen, störenden Phasenverschiebungen. Die im Sendestrang der Meßortmarke I auftretende Phasenverschiebung ist mit  $\varphi_{S1}$ , die in ihrem Empfangsstrang auftretende Phasenverschiebung mit  $\varphi_{E1}$  bezeichnet. Für die Meßortmarke II sind die entsprechenden internen Phasenverschiebungen mit  $\varphi_{S2}$  und  $\varphi_{E2}$  bezeichnet. Gegenüber der Phase des Ausgangssignals des Generators 1 ermitteln die Einheiten 15 und 16 daher folgende resultierende Phasenabweichungen:

$$\begin{aligned}\Phi_{12} &= \varphi_{S1} + \varphi_{12} + \varphi_{E1} \\ \Phi_{11} &= \varphi_{S2} + \varphi_{11} + \varphi_{E1}.\end{aligned}$$

Dies gilt für den Fall des Betriebs der Meßortmarke I als Sender. Sobald der Generator 1 von Meßortmarke I abgeschaltet und (durch Schließen des Kontakts 3) auf Meßortmarke II aufgeschaltet wird, ergeben sich folgende resultierende Phasenverschiebungen:

$$\begin{aligned}\Phi_{21} &= \varphi_{S2} + \varphi_{21} + \varphi_{E2} \\ \Phi_{22} &= \varphi_{S2} + \varphi_{22} + \varphi_{E2}.\end{aligned}$$

Durch Differenzbildung innerhalb der beiden Gleichungssysteme und Addition der daraus erhaltenen Werte erhält man schließlich den doppelten Wert der gesuchten Phasenverschiebung  $\varphi_{12}$  zuzüglich einer Konstante, die eingeeicht werden kann.

In Fig. 2 ist bei 30 der mit Sitzen 31 und 32 ausgestattete Innenraum eines Kraftfahrzeugs angedeutet, das mit mehreren Meßortmarken I bis VI versehen ist. Dabei dienen die Meßortmarken I bis IV zur Festlegung eines räumlichen Koordinatensystems. So markiert beispielweise die Meßortmarke I den Ursprung des Koordinatensystems, die Marke II die x-Achse und die Marke III die x-y-Ebene. Von der Meßortmarke IV braucht nur noch bekannt zu sein, daß sie eine positive z-Koordinate (senkrecht zur Zeichenebene) besitzt, damit die Position jeder weiteren Meßortmarke durch die entsprechend Fig. 1 gemessenen Streckenlängen eindeutig bestimmt werden kann. Da jeder lineare Abstand zwischen den Meßortmarken gemessen wird, ist das so gebildete, in Fig. 3 durch unterbrochene Linien angedeutete "Stabwerk" bei einer Anzahl von Meßortmarken größer als vier überbestimmt, so daß infolge dieser Redundanz im System einzelne zeitweise ausfallende Meßstrecken (z. B. infolge durch sie hindurchfliegender Gegenstände) toleriert werden können. Die Berechnung der Koordinaten erfolgt dann durch Anwendung einfacher geometrischer Zusammenhänge.

Bei Vorliegen einer derartigen Redundanz können bereits anhand der Beschreibung der Fig. 1 erwähnte Gütesignale für jede gemessene Entfernung dazu dienen, die mit der größten Meßsicherheit ermittelten Entfernungen zwischen Meßortmarken für die Auswertung in der zentralen Einheit 19 auszuwählen. Möglich ist jedoch auch die unmittelbare Anwendung von Methoden aus der Mechanik: Da das Gütesignal nicht nur eine Gut/Schlecht-Entscheidung enthält, sondern einen Gütegrad darstellt, können die gemessenen Entfernungen als Stablängen eines überbestimmten Stabwerkes interpretiert werden; der Gütegrad jedes Stabes entspricht seiner Steifigkeit. Die Knotenpunkte des Stabwerkes sind die Stellen von Meßortmarken, die vor allem durch Stäbe hoher Steifigkeit bestimmt sind. Die "weicheren" Stäbe tragen jedoch auch zur Ermittlung der Stelle bei.

Mit der Erfindung ist demgemäß ein gattungsgemäßes Verfahren geschaffen, das mit relativ geringem Meßaufwand und ohne Beeinträchtigung der Vorgänge im Bereich des jeweiligen Meßobjektes die Echtzeit-Messung von dynamischen dreidimensionalen Verformungen des Meßobjekts auch unter scharfen Bedingungen ermöglicht.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Echtzeit-Messung von dynamischen dreidimensionalen Verformungen eines Meßobjekts, dadurch gekennzeichnet, daß an definierten Meßorten des Meßobjekts drahtlose Signale omnidiagonal aussendende sowie derartige Signale empfangende aktive elektronische Meßortmarken (I, II) befestigt und durch Verknüpfung ihrer Empfangssignale verformungsbedingte Momentanwerte der Entfernungen zwischen den Meßortmarken (I, II) ermittelt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßortmarken (I, II) während jedes Meßvorgangs in vorgegebener zeitlicher Folge individuell als Sender und zumindest die jeweils verbleibenden Meßortmarken als Empfänger betrieben werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erhöhung der Meßqualität die Anzahl der Meßortmarken (I, II) größer als die jeweils zur Messung der Verformung theoretisch

erforderliche Anzahl gewählt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung der Entfernung zwischen jeweils zwei Meßortmarken (I, II) die Phasenverschiebungen  $\varphi_{12}, \varphi_{21}$  zwischen von ihnen ausgesendeten und empfangenen Signalen erfaßt werden. 5

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Elimination von Laufzeiteinflüssen eine Längenmessung einer Referenzstrecke bekannter Länge erfolgt. 10

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Längenmessung der Referenzstrecke in abwechselnder Folge mit den Meßvorgängen zur Verformungsmessung erfolgt. 15

7. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Elimination von Laufzeiteinflüssen die Meßortmarken (I, II) auch ihre eigenen Sendesignale empfangen ( $\varphi_{11}, \varphi_{22}$ ) wobei die zugehörigen Eigenempfangsstrecken bekannt sind, und daß 20 die bei jeweils zwei Meßmarken (I, II) auftretenden Gesamtphasenverschiebungen zwischen einem einer sendenden Meßortmarke (I) zugeordneten Signalgenerator und einer der jeweils anderen Meßortmarke (II) zugeordneten Phasenverschiebungsmßeinrichtung (15, 16) voneinander subtrahiert werden. 25

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß vier Meßortmarken (I—IV) zur Definition eines Koordinatensystems 30 herangezogen werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 gekennzeichnet durch optoelektronisch arbeitende Meßortmarken (I, II), deren die drahtlosen Signale darstellende Strahlung mit einer das Ausfiltern von 35 Umgebungslichteinflüssen ermöglichen Frequenz moduliert wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß es zur Erfassung von durch äußere Kräfte bewirkten Verformungen eines Prüflings, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, durchgeführt wird. 40

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß es zur Erfassung von Schwingungen in einem Meßobjekt durchgeführt 45 wird.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**- Leerseite -**

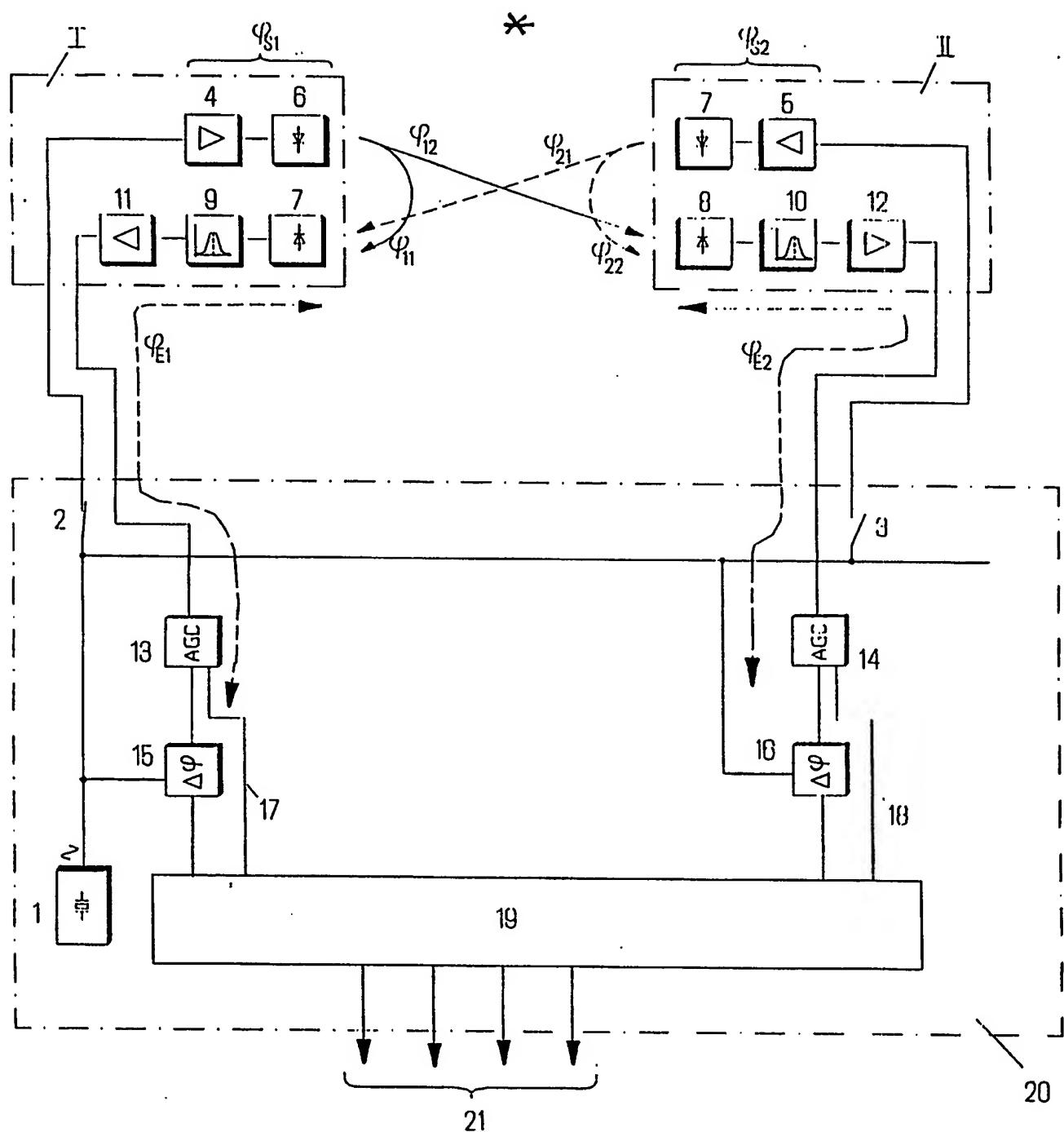


Fig. 1

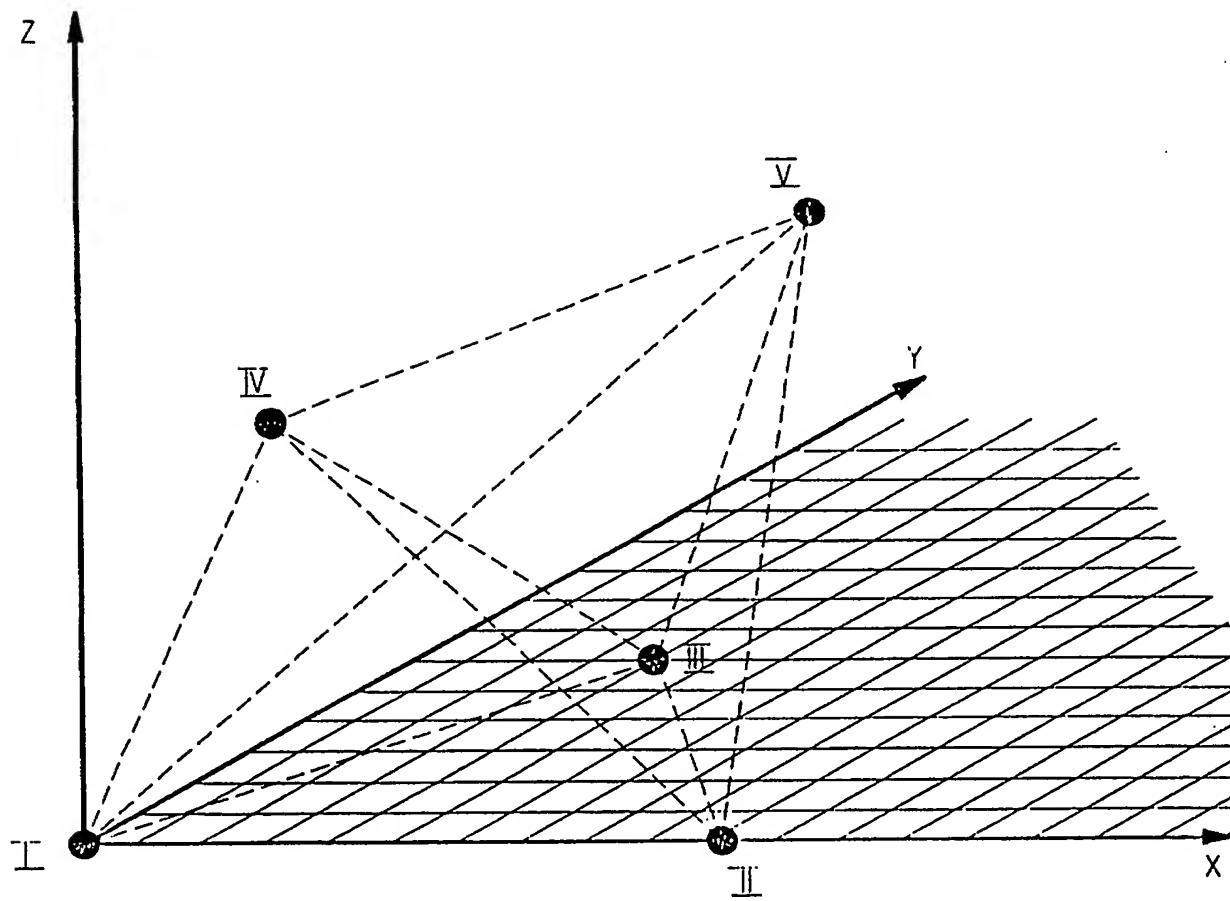
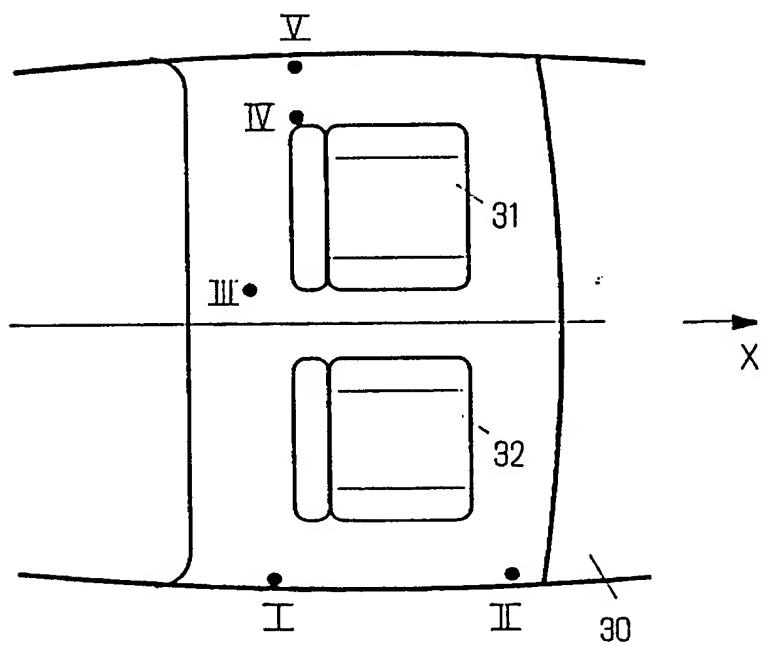


Fig. 3